

# 一种多路隔离驱动电路的设计与实现<sup>①</sup>

陈珊珊<sup>1,2</sup>

1. 重庆电子工程职业学院 机电学院, 重庆 401331;

2. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044

**摘要:** 在多输入直流变换器中, 由于多个开关管不共地, 因此常常需要设计多路隔离驱动电路. 基于此, 设计了一种多路隔离驱动电路, 包括多路隔离驱动电源、基于改进传统 NE555 多谐振荡器实现的 PWM 信号发生电路和基于 TLP250 实现的隔离电路. 详细分析了各个部分的工作原理并给出相应的电路原理图. 最后, 通过实验验证了所设计电路的正确性和可行性.

**关键词:** 隔离驱动; PWM 发生器; 多输入直流变换器

中图分类号: TM72

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2015)8-0086-06

在新能源联合发电系统中, 各种新能源发出的电能均需要采用 DC-DC 变换器将其转换为所需直流电, 并联在直流母线上. 在多输入源的情况时, 传统的方式一般是各输入源和与之对应 DC-DC 变换器进行串联, 然后直接并联在直流母线上, 这样造成了系统的结构复杂, 各 DC-DC 变换器需要单独控制且成本较高<sup>[1, 2]</sup>. 基于此, 可采用一个多输入直流变换器(Multiple-Input Converter, MIC)来代替多个单输入直流变换器, 使得系统的结构得以简化, 元器件数量大幅减少和成本有效降低<sup>[3-5]</sup>.

MIC 采用一个多输入直流变换器代替多个单输入直流变换器, 简化了电路结构, 降低了电路成本, 并且控制更加灵活. 目前, 电力场效应管(MOSFET)和绝缘栅双极晶体管(IGBT)作为 MIC 中广泛采用的开关器件, 开关管的驱动技术作为其应用的关键技术之一, 直接影响电力电子系统运行的效率、可靠性和安全性. 一方面, 主电路中的电压和电流一般都较大, 而控制驱动电路的元器件却只能承受较小的电压和电流, 因此驱动电路与主电路连接处需进行电气隔离, 主要是通过光、磁等物理量来传递信号, 以提高系统的抗干扰能力<sup>[6]</sup>; 另一方面, 由于 MIC 中一般存在多个开关管, 不同的开关管间不共地, 它们之间的驱动电压随源极电位的变化而对地浮动, 不同开关管的驱动电路之间需要隔离. 基于此, 本文设计了一种简单实用的多路隔离驱动电路.

## 1 多路隔离驱动电路的原理框图

本文采用带光电隔离的驱动芯片 TLP250 来实现驱动电路与主电路之间的信号传递. 为了实现不同开关管之间驱动信号需要隔离的要求, 设计了一种多路隔离直流稳压电源对驱动芯片进行供电. 此外, 本文采用改进 NE555 多谐振荡器来产生 PWM 信号, 多路隔离驱动电路的原理框图如图 1 所示. 需要说明的是, 如果各开关管需要采用不同的驱动信号, 可以用多个 PWM 信号发生器来产生多个不同的驱动信号来实现电路开关管的驱动.

<sup>①</sup> 收稿日期: 2014-12-11

作者简介: 陈珊珊(1982-), 女, 四川阆中人, 硕士, 主要从事 PLC 与自动化生产线、电力电子技术方面的研究.

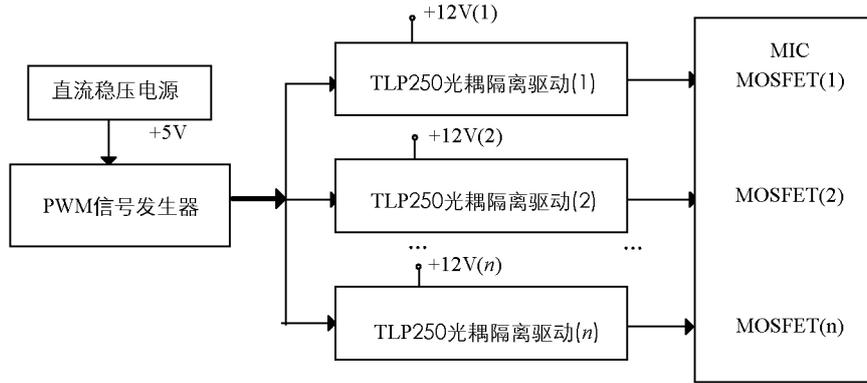


图 1 多路驱动隔离电路原理框图

## 2 多路驱动隔离电路各个部分的组成

### 2.1 PWM 信号发生电路

由 NE555 构成的传统多谐振荡器如图 2 所示，其工作原理为：设接通电源时电容电压  $V_C = 0$ ，输出为高电平，NMOS 管截止，此时， $R_1, R_2$  和  $C$  组成一阶动态 RC 电路，电容进行充电，时间常数为  $(R_1 + R_2)C$ ，电容电压的稳态值为  $V_{DD}$ 。随着充电过程的进行，电容电压不断上升；当  $V_C > 2V_{DD}/3$  时，电路输出为低电平，NMOS 管导通，电容充电结束，改向 NMOS 管放电。电容从  $2V_{DD}/3$  开始放电，时间常数为  $R_2C$ ，电容电压的稳态值为 0，电容电压随之下降；当  $V_C < V_{DD}/3$  时，电路输出高电平，NMOS 管截止。之后，电容开始充电，重复前述充电过程。如此周而复始，电路形成自激振荡，输出 PWM 波<sup>[7]</sup>，如果在电压控制端 (C-V 端) 作用控制电压，则可以改变比较器的参考电压，本文中无需改变参考电压，则采用一个  $0.01 \mu F$  的电容接地。

传统的多谐振荡器不能实现频率和占空比的分别连续可调，而且一旦电路参数取定，频率调节范围相对较窄，在调节频率的同时又会改变占空比的值，这都使其应用范围受到了限制。因此本文在传统多谐振荡器的基础上进行改进，改进后的原理图如图 3 所示，调节可变电阻  $R_1, R_2$ ，选择不同电容档位即可实现频率的连续可调，频率调节的范围为  $68 \text{ Hz} \sim 400 \text{ kHz}$ ，在固定  $R_1 + R_2$  之和不变的基础上，调节  $R_1, R_2$  和  $R$  可使频率不发生改变，而实现占空比在  $5\% \sim 95\%$  的连续可调。

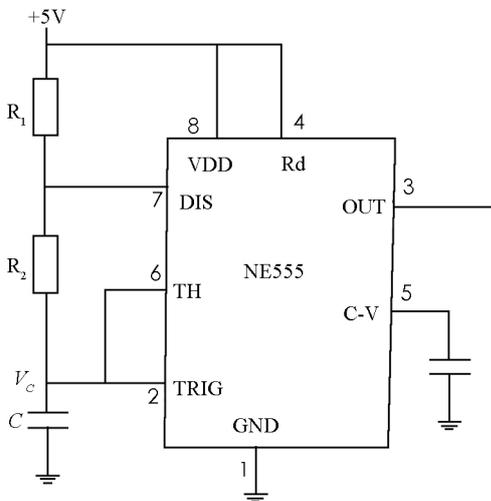


图 2 传统的多谐振荡器

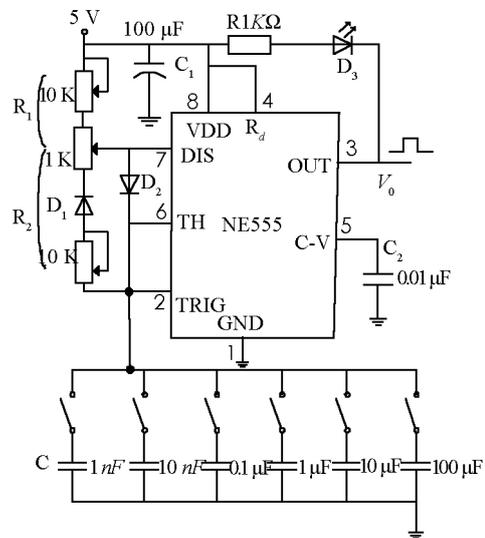


图 3 改进后的多谐振荡器

输出 PWM 波的周期等于电容充电和放电时间之和。用一阶 RC 电路的三要素法可求出电容的充放电时间。

充电过程中, NMOS 管截止, 电源通过等效电阻  $R_1$  和二极管  $D_1$  向电容充电, 时间常数为  $R_1 C$ , 充电时间  $T_1$

$$T_1 = R_1 C \ln \frac{V_{DD} - \frac{1}{3}V_{DD}}{V_{DD} - \frac{2}{3}V_{DD}} = 0.7R_1 C \quad (1)$$

放电时间为

$$T_2 = R_2 C \ln \frac{0 - \frac{2}{3}V_{DD}}{0 - \frac{1}{3}V_{DD}} = 0.7R_2 C \quad (2)$$

因此, 振荡周期  $T$  和振荡频率  $f$  为

$$T = T_1 + T_2 = 0.7(R_1 + R_2)C \quad (3)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.7(R_1 + R_2)C} \quad (4)$$

## 2.2 多路隔离直流稳压电源的设计

由于不同的开关管之间需要隔离驱动, 每块驱动芯片都需要一组电源供电, 基于此, 本文设计了 15 V, 12 V 和 5 V 的 3 路直流稳压电源, 3 路之间相互隔离. 多路稳压电源的工作原理与单路工作一致, 下面以单路为例进行介绍:

220 V, 50 Hz 的交流电压经过整流电路变换为单极性的脉动电压, 低通滤波电路滤除绝大部分的交流分量、保留直流分量, 作为稳压电路的输入.

### 2.2.1 整流滤波电路的设计

为了提高整流电路的性能, 抑制变压器的直流偏磁, 采用电容滤波的单相桥式整流电路, 如图 4 所示, 整流电路是由 4 个参数相同的二极管链接成四臂电桥,  $D_1$  和  $D_2$  顺向串联,  $D_3$  和  $D_4$  顺向串联, 交流电压与两条串联支路的中点相连, 两条串联支路并联后与负载形成回路. 滤波电路采用大容量电容  $C$  与负载  $R$  并联实现低通滤波. 其具体工作原理如下:

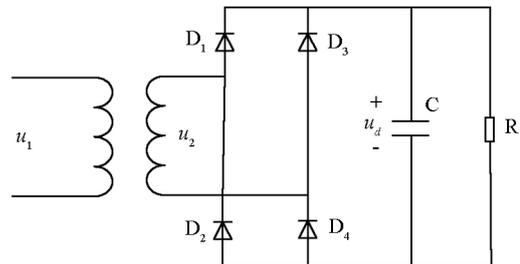


图 4 电容滤波的单相桥式整流电路

假设该电路已经工作在稳态, 当交流电源两端电压  $u_2$  正半周时且  $u_2 > u_d$  时,  $D_1$  和  $D_4$  导通, 此时电源向负载  $R$  供电的同时也向电容充电, 负载两端电压  $u_d$  不断增加, 交流电源两端电压  $u_2$  以正弦规律不断增加至峰值后下降, 直到  $u_2 = u_d$  时,  $D_1$  和  $D_4$  关断, 此时电容对负载进行放电, 放电常数为  $RC$ . 之后电源电压  $u_2$  以正弦规律不断减少过零进入负半轴, 当  $u_2 > u_d$  时,  $D_2$  和  $D_3$  导通, 此时  $u_2$  向负载供电, 同时也向电容充电, 此后与  $u_2$  在正半周期一样, 当  $u_2$  伴随着正弦规律减小到峰值后又增加, 当  $u_2 < u_d$  时, 二极管  $D_2$  和  $D_3$  截止, 此时电容向负载放电, 放电常数为  $RC$ , 之后  $u_2$  随着正弦规律增加过零进入正半轴, 之后又周期地重复前述过程, 电容  $C$  如此周而复始地进行充放电, 负载将输出一个近似锯齿波的电压波形, 当电容值很大时, 放电时间常数将很大, 输出锯齿波波形将近似平滑<sup>[6,8]</sup>.

### 2.2.2 稳压电路的实现

在经过整流和滤波之后, 交流电压已转换为直流电压. 但是一方面, 直流电压的纹波占交流分量的 10% 左右, 另一方面, 电网交流电压的波动达到  $\pm 10\%$ , 所以输出电压的变化量可能达到  $\pm 20\%$  左右<sup>[9]</sup>. 这时就需要采用稳压电路来将变化的直流电压转换为稳定的直流电压, 本文采用集成线性稳压器 W7800 系列产品, W7815, W7812 和 W7805 分别产生稳定的 15 V, 12 V 和 5 V 的直流电压, 如图 5 中所示, 稳压芯片为三端元器件, 3 个端口分别为输入、输出和接地.

### 2.2.3 3 路隔离稳压电源的原理图及元器件参数选取

3 路隔离稳压电源的原理图如图 5 所示, 其中全桥整流电路中的二极管均选用 1N4007,  $D_1 - D_9$  选用

1N4001,  $C_1, C_6$  和  $C_{11}$  为  $3\ 300\ \mu\text{F}/25\ \text{V}$ ,  $C_2, C_7, C_{12}$  为  $0.1\ \mu\text{F}$ ,  $C_3, C_4, C_8, C_9, C_{13}, C_{14}$  为  $1\ \mu\text{F}/25\ \text{V}$ ,  $C_5, C_{10}, C_{15}$  为  $1\ \mu\text{F}/10\ \text{V}$ . 保险管选取为电流 1A 型, 三端稳压管为 L7815CV, L7812CV 和 L7805CV, 变压器参数为 1 路输入, 3 路输出, 输入输出变比均为 11 : 1, 输入电压为 0~220 V, 3 路输出电压为 0~20 V.

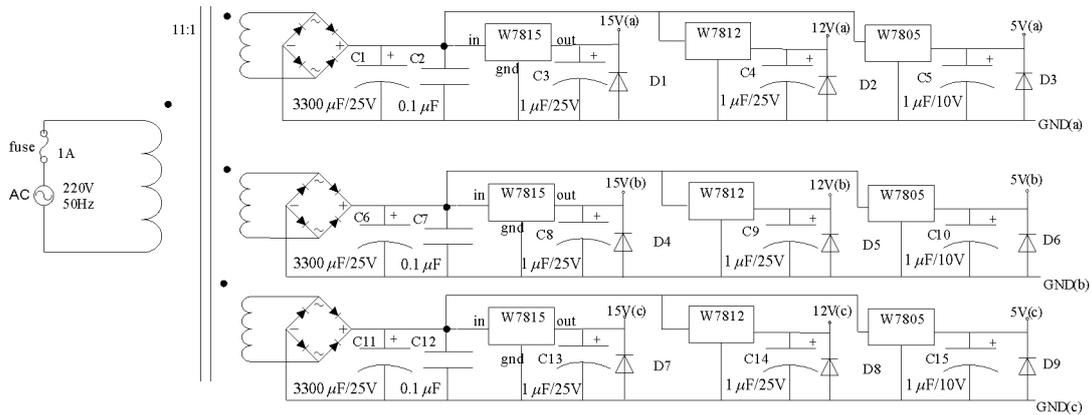


图 5 3 路隔离稳压电源原理

### 2.3 光耦隔离驱动电路的设计

本文采用带有光电隔离的驱动芯片 TLP250, 它是日本东芝公司生产的一款专用集成功率驱动模块, 包含一个  $G_a A_1 A_s$  光发射二极管和一个集成光探测器, 其最大驱动能力达到 1.5 A, 它可以直接驱动 MOSFET, 也可以用来驱动 50 A, 1 200 V 以下的 IGBT, 它具有输入输出相互隔离、工作电源电压范围宽、开关响应速度快等优点<sup>[10]</sup>. 其内部结构如图 6 所示, 当输入信号 2 脚为高电平时, 发光二极管导通发光, 集成光探测器检测到光信号, 将光信号转化为与输入同相位的脉冲信号, 输出的脉冲信号使 VT1 导通, 向被驱动的 MOSFET 提供正驱动信号, 使被驱动 MOSFET 饱和导通. 当输入 2 脚为低电平时, 发光二极管截止, 同理使得 VT2 导通, VT1 截止, 迅速使被驱动 MOSFET 栅源极之间的电容放电, 被驱动 MOSFET 快速关断. 3 路隔离驱动电路的原理图如图 7 所示, 3 块 TLP250 芯片采用同一路 PWM 输入信号. PWM 信号与 2 脚输入之间的接入电阻为 390  $\Omega$ , 5 脚和 8 脚之间接入一个 0.1  $\mu\text{F}$  的电容是为了获得稳定的放大增益.

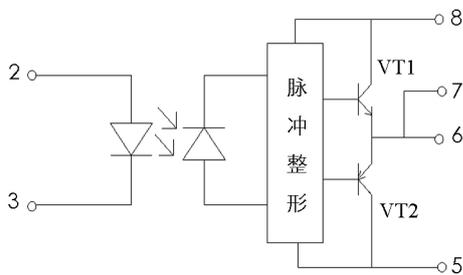


图 6 TLP250 内部原理框图

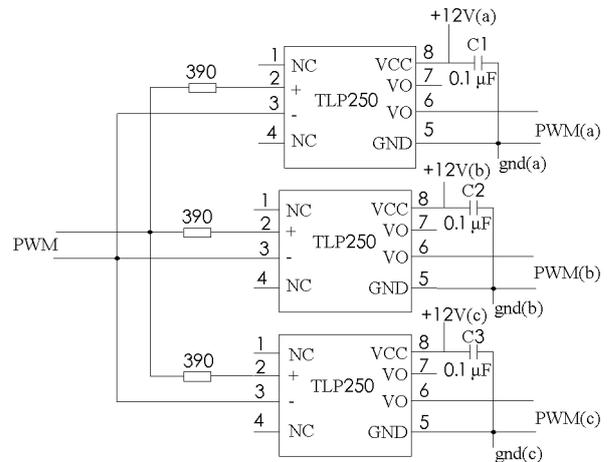


图 7 多路驱动隔离电路原理框图

## 3 实验研究

参考文献[11]中提出一种多输入升压变换器, 在该多输入升压变换器中, 所有的开关管都是由同一个 PWM 信号进行控制, 且所有的开关管之间不共地线, 需要采用多路隔离驱动电路. 为了验证本文所设计的多路隔离驱动电路的正确性与可行性, 本文采用参考文献[11]所提的实现同时供电的 3 输入升压变换器

制作了 1 台实验样机来对所设计的驱动电路进行测试, 实验样机主电路部分各元器件的参数选取与文献 [11] 相同, 实验波形如图 8 所示:

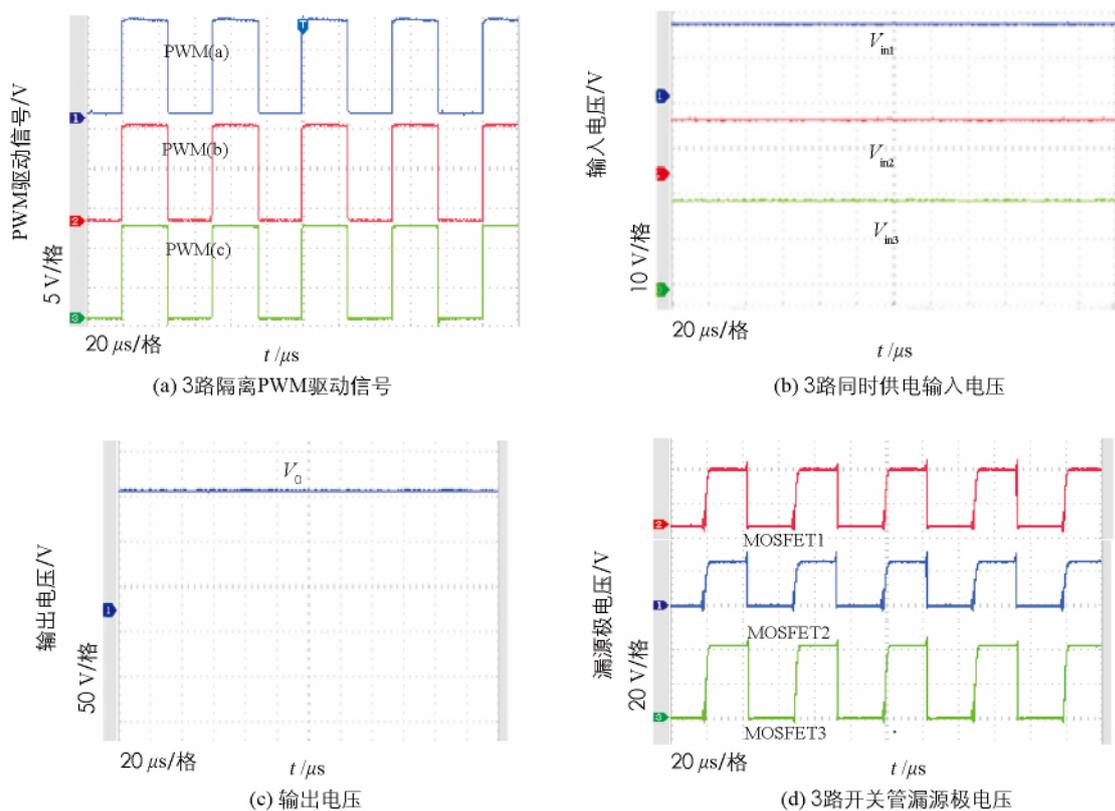


图 8 隔离驱动电路实验波形

图 8(a) 为本文所设计的隔离驱动电路产生的 3 路 PWM 驱动信号, 频率为 20 kHz, 占空比为 0.5, 幅值为 12 V, 3 路之间彼此隔离, 波形稳定. 图 8(b) 为输入同时供电升压变换器中的 3 路直流输入电压波形, 其中  $V_{in1} = 16$  V,  $V_{in2} = 12$  V,  $V_{in3} = 20$  V. 图 8(c) 为输出电压波形, 实验测量值  $V_o = 136$  V 与理论分析值  $V_o = 144$  V 基本接近, 说明该电路是正常工作的. 图 8(d) 为 3 个开关管两端的电压波形, 开关管的工作频率, 占空比与电压应力值均与理论分析一致. 实验波形说明本文所设计的隔离驱动电路能使开关管处于正常工作状态, 并且工作波形稳定, 这也验证了本文所设计的多路隔离驱动电路的正确性与可行性.

## 4 结 论

本文所设计的多路隔离驱动电路, 包括多路隔离驱动电源、基于改进传统 NE555 多谐振荡器实现的 PWM 信号发生电路和基于 TLP250 实现的隔离电路. 通过实验验证能够很好地实现多个开关管的隔离驱动, 结构简单、设计合理、成本低以及驱动波形具有很好的稳定性, 是一款具有高性价比的隔离驱动电路. 本驱动电路既可以用作单个开关管的驱动, 也可适用于多个开关管之间不共地, 需要隔离驱动的电容器中, 具有一定的实用价值.

### 参考文献:

- [1] 茆美琴. 风光柴蓄复合发电及其智能控制系统研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2004.
- [2] 李 艳. 多输入直流变换器电路拓扑及控制策略研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009.
- [3] 王经明, 何志伟. 多输入直流变换器介绍 [J]. 电源世界, 2005(3): 1-4.
- [4] 李 艳, 阮新波, 杨东升. 一种新的双输入直流变换器 [J]. 电工技术学报, 2008, 23(6): 77-82.
- [5] 杨东升, 阮新波, 李 艳, 等. 一种新的多输入全桥变换器 [J]. 电工技术学报, 2011, 26(8): 24-32.

- [6] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [7] 唐治德. 数字电子技术基础 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [8] 张凤运, 段书凯, 王丽丹, 等. 单相 AC-DC 变换电路设计 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2015, 37(1): 155—162.
- [9] 唐治德. 模拟电子技术基础 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [10] 陈永军, 温慧辉, 李俊杰. TLP250 功率驱动模块在 IRF840MOSFET 中的应用 [J]. 今日电子, 2005(1): 61—63.
- [11] 侯世英, 陈剑飞, 孙 韬, 等. 基于 Switch-Capacitor 网络实现分时供电的多输入升压变换器 [J]. 电工技术学报, 2014, 29(4): 27—37.

## On Design and Implementation of an Isolated Driving Circuit with Multi-Channel Output

CHEN Shan-shan<sup>1,2</sup>

1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing 401331, China;

2. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology Chongqing University, Chongqing 400044, China

**Abstract:** Since many switches do not share a common ground in the multiple-input dc-dc converter, isolated driving circuit is usually needed. Due to this, an isolated driving circuit with multi-channel output is designed in this paper, which includes an isolated driving power supplies with multi-channel output, a circuit producing PWM signal based on improved NE555 multivibrator and an isolated circuit based on TLP250. Operating principle of every part is analyzed in detail and the corresponding schematic circuit is given. Finally, the experimental results verify the correctness and feasibility of this driving circuit.

**Key words:** isolated drive; PWM signal producer; multiple-input converter (MIC)

责任编辑 汤振金